

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



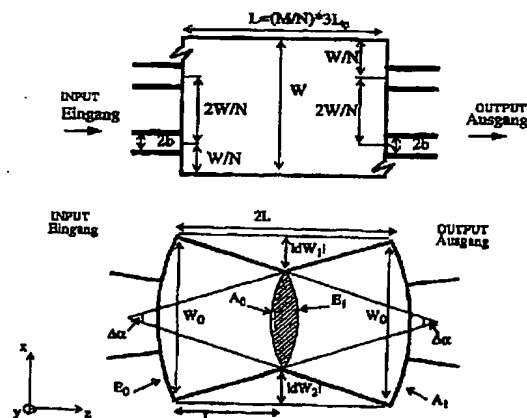
|   |           |   |
|---|-----------|---|
| (51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :<br><b>G02B 6/28, H01P 1/16, H04B 10/00</b>  | <b>A1</b> | (11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 95/12828</b><br><br>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 11. Mai 1995 (11.05.95)   |
| (21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/CH94/00207</b><br>(22) Internationales Anmeldedatum: 18. Oktober 1994 (18.10.94)<br><br>(30) Prioritätsdaten:<br>3310/93-3                      4. November 1993 (04.11.93)      CH<br><br>(71)(72) Anmelder und Erfinder: <b>BESSE, Pierre-André [CH/CH];</b><br>Avenue de la Piscine 30, CH-1020 Renens (CH). |           | (81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).<br><br>Veröffentlicht<br><i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> |

(54) Title: PROCESS FOR ALTERING THE INTENSITY AND PHASE RATIOS IN MULTI-MODE INTERFERENCE COUPLERS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÄNDERUNG DER INTENSITÄTS- UND PHASEN-VERHÄLTNISSE IN MULTI-MODE INTERFERENZ KOPPLERN

(57) Abstract

The invention lies in the field of integrated optics and communications technology. Here, integrated compact beam splitters and combiners are highly important. These optical functions can be fulfilled by "multi-mode interference (MMI)" couplers. With these couplers a certain number of inputs is uniformly distributed over all outputs. These components have wide manufacturing tolerances and are in a good approximation, polarisation-independent. In conventional MMI couplers with parallel flanks the intensity and phase distributions at the output are fixed. For many applications, however, it is necessary to be able to influence these distributions in a controlled manner. The invention proposes a process for the controlled alteration of the intensity and phase ratios at the output of MMI couplers. For this purpose, the conventional MMI couplers are first divided into sections. Each section is then separately transformed so that the self-imaging properties are retained. At the end the sections are once again arranged in series. Judicious selection of the transformations makes it possible to obtain differently controlled beam splitters and combiners. The ratios are changed by a simple tolerant control of geometrical parameters.



(57) Zusammenfassung

Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der integrierten Optik und der Kommunikationstechnik. In diesen sind integrierte kompakte passive Strahlteiler und Mischer von grosser Bedeutung. Diese optischen Funktionen können mit sogenannten Multi-Mode Interferenz (MMI)-Kopplern erfüllt werden. Dabei werden eine gewisse Anzahl Eingänge auf alle Ausgänge gleichmässig verteilt. Diese Bauelemente haben grosse Herstellungstoleranzen und sind in guter Näherung polarisationsunabhängig. In den gewöhnlichen MMI-Kopplern mit parallelen Flanken sind die Intensitäts- und Phasenverteilungen am Ausgang fest. Es ist in vielen Anwendungen aber nötig, diese Verteilungen kontrolliert beeinflussen zu können. Die Erfindung stellt ein Verfahren zur kontrollierten Änderung der Intensitäts- und Phasenverhältnisse am Ausgang von MMI-Kopplern dar. Dabei werden die gewöhnlichen MMI-Koppler zuerst in Stücke geteilt. Jedes Stück wird dann separat transformiert, so dass die Selbstabbildungseigenschaften erhalten bleiben. Am Ende werden die Stücke wieder in Serie gesetzt. Durch geeignete Wahl der Transformationen können verschiedene kontrollierte Strahlteiler und Mischer erhalten werden. Die Änderung der Verhältnisse erfolgt durch eine einfache tolerante Kontrolle von geometrischen Parametern.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平8-508351

(43) 公表日 平成8年(1996)9月3日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>

G 0 2 B 6/28

H 0 4 B 10/02

識別記号

庁内整理番号

8809-2K

7739-5J

F I

G 0 2 B 6/28

H 0 4 B 9/00

U

U

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求(全 38 頁)

(21) 出願番号 特願平7-512937  
 (86) (22) 出願日 平成6年(1994)10月18日  
 (85) 翻訳文提出日 平成7年(1995)7月4日  
 (86) 国際出願番号 PCT/CH94/00207  
 (87) 国際公開番号 WO95/12828  
 (87) 国際公開日 平成7年(1995)5月11日  
 (31) 優先権主張番号 3310/93-3  
 (32) 優先日 1993年11月4日  
 (33) 優先権主張国 スイス (CH)  
 (81) 指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M C, NL, PT, SE), CA, JP, US

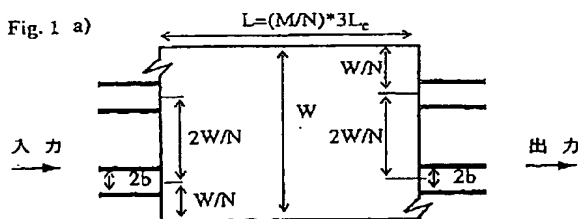
(71) 出願人 フィリップス エレクトロニクス ネムローゼ フェンノートシャップ  
 オランダ国 NL-5621 ペーアー アインドーフェン フルーネヴァウツウェッハ 1  
 (72) 発明者 ベス, ビエール-アンドレ  
 スイス国 CH-1020 レナン アヴェニユ ド ラ ビシン 30  
 (74) 代理人 弁理士 矢野 敏雄 (外2名)

(54) 【発明の名称】 マルチモード干渉結合器における強度特性及び位相特性の変化方法

(57) 【要約】

本発明は集積光学と通信技術の分野に関する。ここでは集積化された小型ビームスプリッタとコンパイナが非常に重要である。この光学的な機能はいわゆるマルチモード干渉形結合器で実行し得る。この場合所定の数の入力側が全ての出力側に亘って均等に分割される。この構成素子は大きな製造偏差を有し、良好な近似において偏光に依存する。並列なエッジを有する従来のMMI結合器においては出力側における強度分布と位相分布は固定的である。しかしながら多くの適用例においてはこれらの分布をコントロールして制御し得る手段が必要とされる。本発明はMMI結合器の出力側における強度特性と位相特性の変化をコントロールする方法を提供するものである。この場合、従来のMMI結合器がまず複数のセクションに分割される。これらの各セクションは別個に変換され、それによって自己結像特性は保持され続ける。端部においてこれらのセクションは再び直列に配列される。変換の適当な選択によっては種々のコントロールされたビームスプリッタとコンパイナが得られる。特性の変化は簡単な幾何学的パラメータの許容され得るコ

Fig. 1 a)



**【特許請求の範囲】**

1. 2次元または3次元のマルチモード干渉（MMI）結合器の出力側における強度特性及び位相特性の変化方法において、

平行な側面を有する通常のMMI結合器に対し次の変換を施し、すなわち、  
各セクション自体が（場合によってはオーバーラップする像をもつ）1つのMMI結合器になるように、通常のMMI結合器を伝搬方向に沿って2つまたは複数のセクションに分け、

当該結合器の特性的自己結像（セルフイメージング）効果が保持されるように、または1次近似が保持されるように、各セクションが別個に変換され、たとえば2次元または3次元の変換に適しており（幅および長さの変更、側面の傾斜設定、入／出力導波体の側面でのずれおよび傾斜設定、入／出力導波体の寸法の変更）、

変換されたこれらのセクションを、各セクション間で結合導波体を用いることなくそのまま直列に配置し、各セクションは変換されているので、像の個数および次のセクションの入力側におけるその相対的位相が変えられ、このことによりコンポーネント全体の終端における干渉現象が変えられ、個々のセクションの用いられる変換に応じて、形成される各

出力側における強度特性が変化し、新たな自己結像が生じ、意図的に生成された放射が発生し、

新たに現れる自己結像を導くために、または意図的に生成される放射を収集するために、新たな出力導波体を導入することを特徴とする、

2次元または3次元のマルチモード干渉（MMI）結合器の出力側における強度特性および位相特性の変化方法。

2. 2次元または3次元のマルチモード干渉（MMI）結合器の出力側における位相特性の変化方法において、

当該方法は以下のステップを有しており、すなわち、

当該結合器の特性的自己結像効果が保持されるように、通常のMMI結合器を変換し、変換後、入／出力側の位置は湾曲線または湾曲面上に位置し、該線ま

たは面を入／出力フロントと称し、たとえば2次元または3次元の変換に適しており（幅および長さの変更、側面の傾斜設定、入／出力導波体の側面でのずれおよび傾斜設定、入／出力導波体の寸法の変更）、

入／出力導波体を前記の入／出力フロントとは別の線または面上—たとえば直線または平面上—に配置し、

変換の選定に応じて入力フロントと出力フロント

がずれ、その湾曲が同時に変化し、入力側と出力側の位置ならびに入力フロントと出力フロントの個所の差により、当該コンポーネントの終端において位相特性の変化が生じ、これにより該特性は変換の適切な選定により制御できることを特徴とする、

2次元または3次元のマルチモード干渉（MMI）結合器の出力側における位相特性の変化方法。

3. MMI結合器のスプリッタ機能を損なわずに入力光度の一部分を分岐させるための方法において、

当該方法は請求項1と類似のステップを有しており、すなわち、

通常のMMI結合器を2つのセクションに分け（位置 $z = z_0$ における分岐）、 $z_0$ の選定により、分岐される光の成分が制御され、

第1のMMIセクションの幅を広げ、これにより光の一部分は第2のMMIセクションではなく放射として片側または両側に生じ、意図的に生成された該放射を新たに導入された導波体により収集し、

残りの光は第2のMMIセクションに伝搬し、該セクションの出力側において干渉し合い、第1のMMIセクションの拡開による干渉像の障害を、入／出力導波体の位置、幅、および入射角度、ならびに第2のMMIセクションの長さに対する僅かな補正により補償することを特徴とする、

MMI結合器のスプリッタ機能を損なわずに入力

光度の一部分を分岐させるための方法。

4. 側面の傾斜設定（およびこれに伴う長さおよび入／出力導波体の位置および

方向の整合)を、2次元または3次元の変換として用い、該変換および必要な整合は、単に座標変換(円柱座標変換または球面座標変換)により解析可能であり、変換後、各セクションの入/出力フロントは円形平面または球面上に位置し、これらのフロントの不一致から各MMIセクション間に位相差が生じ、これにより当該コンポーネント全体の出力端における干渉像および強度特性が変化する、請求項1記載の方法。

5. 通常のMMI結合器を中央部でのみ分けて、該中央部まで幅を直線的に低減し(拡大し)、該中央部から元の値になるまで再び直線的に拡大し(低減し)、各セクションの長さを整合し、変換されたコンポーネントを”バタフライ形”(逆バタフライ形)MMI結合器と称する、請求項4記載の方法。

6. 2つまたは3つの出力側だけを用い、通常の”対称干渉1x1-MMI結合器”または通常の”対称干渉1x2-MMI結合器”を2つに分け、第1のセクションの幅を一方の側だけ広げ、該側においてただ1つの新たな導波体により放射を収集し、入力導波体の僅かなずれにより元の自己結像特性を再び形成可能であり、つまりただ1つの像が”対称干渉1x1-MMI結合器”の出力側に生じ、”対称干

渉1x2-MMI結合器”の2つの出力側において均等な強度分布が生じる、請求項3記載の方法。

7. 第1のMMIセクションの拡開領域に光吸収性材料を挿入し、該光吸収性材料の入力側には反射が生じないようにし、該放射は導波体で収集されることなくそのまま吸収される、請求項3記載の方法。

8. 通常の”不完全干渉3dB-MMI結合器”または通常の”不完全干渉クロスMMI結合器”を中央部分で分け、請求項5にしたがって変換して”バタフライ形”または”逆バタフライ形”MMI結合器を形成し、幅の低減または拡大を、通常の”不完全干渉3dB-MMI結合器”については対称に(両側で均等に)行い、通常の”不完全干渉クロス-MMI結合器”については非対称に(一方の側だけで)行い、これにより当該コンポーネントは1x2-ビームスプリッタとしてはたらき、両方の出力側間の強度特性を、幅の低減係数または拡大係数に

より制御する、請求項5記載の方法。

9. 通常の”対称干渉1 x 2-MMI結合器”を中央部で分け、請求項5にしたがって変換して”バタフライ形”または”逆バタフライ形”MMI結合器を形成し、幅の低減または拡大を対称に両側で均等に行い、これにより当該コンポーネントは1 x 3-ビームスプリッタとしてはたらき、2つの外側の出力側は同じ強度を有し、外側の出力側と中央の出力側

の間における強度特性を、幅の低減係数または拡大係数により制御する、請求項5記載の方法。

10. 通常の”不完全干渉3 dB-MMI結合器”または”対称干渉1 x 2-MMI結合器”を中央部で分け、請求項5にしたがって変換して”バタフライ形”または”逆バタフライ形”MMI結合器を形成し、通常の”不完全干渉3 dB-MMI結合器”については入力導波体を(MMI周縁部から測って)幅の6分の1のところに位置決めし、通常の”対称干渉1 x 2-MMI結合器”については(MMI周縁部から測って)幅の4分の1のところに位置決めし、幅の低減ないし拡大を対称に両方の側で均等に行い、これにより当該コンポーネントは1 x 3-ビームスプリッタとしてはたらき、幅の低減係数または拡大係数により各出力側間の強度特性を制御する、請求項5記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

マルチモード干渉結合器における強度特性及び位相特性の変化方法

## 従来の技術

光学系（すなわち従来の三次元光学系、プレーナ光学系及び光導波路等）においては光ビームが処理されている。この場合の重要な機能は光ビームの分割と合成である。従来の光学系ではそれに対してプリズムやダイヤフラム形スプリッタ等が用いられる。今日では光学的構成要素の寸法を非常に小さくすることが試みられている。一方の側では光ビームの処理を干渉現象（ホログラフィ）を用いて実現することが三次元的に試みられている（フリースペースオプティク）。別の側では集積光学系が急速に開発されている。この場合には薄いフィルム膜か又は二次元導波路が用いられる。集積光学系の目的は従来の光学系の構成要素の機能性を新たに集積可能な光学素子によって実現することである。この研究分野では通信技術への重要な適用が見出されている。

光ファイバ通信では、データ伝送がガラス系ファイバを通る光信号によって行われる。この光信号の処理は集積化された光学チップ上で行われる。この光学チップはファイバー間に配置される。このチップの作成

に対しては大抵の場合薄いフィルム膜が支持体（例えばガラス、Si, Inp, GaAs からの基板）上に配設されて構造化される。

光導波路 [1] では光が媒質（いわゆる導波路コア）中を伝送される。それ故にこの伝送は導波路コアが反射性の移行によって制限される状態を引き起こす。誘電性導波路においては比較的小さな屈折率の周辺媒質（導波路外套部）における全反射が用いられる。光導波路ではマクスウエルの方程式を充たすモードのみが伝搬され得る。これらの導波路はそれぞれ、何も伝送しないのか、各偏光の1つのモードのみを伝送するのか、又はマルチモードの伝送をするのかに応じて、カットオフ型／単一モード型／マルチモード型導波路と称されている。

導波路においては光が長軸方向（z 軸方向）に伝搬される。x 軸方向は導波路膜に対して平行な水平又は横方向として定められる。同様に y 軸方向は導波路層に対して垂直な縦方向又は横断方向として定められる。チップ上の透過光の計算

は、数値的計算方式、例えばビーム伝搬（BPM）方式〔2〕又はモード解析（MA）方式〔3〕等によって行われる。いくつかの場合では実効インデックス方式（EIM）〔4〕等の解析的計算方式も用いられる。しばしばマクスウエルの方程式がスカラ近似において解かれる。これはプレーナオプティクを正確に表わす〔1〕。この場合2つの偏

光の間で次のような区別がなされる。すなわちTE-偏光はx軸方向のE-ベクトルを有し、TM-偏光はx軸方向のHベクトルを有す。集積光学系における慣用の二次元伝搬誘電導波路ではスカラ近似によって“擬似TE”モード、“擬似TM”モードとされる。そのような導波路ではモード方式と実効インデックス偏光は依存し合う。多くの場合偏光に依存しない構成要素を作成することは非常に強く望まれてはいるがその実行は困難である。いわゆる“単一モード”導波路ではしばしば偏光毎に1つのモードが含まれていることはわかっている。すなわち全部で2つのモードが頻繁に伝搬される。これらは通常のガラス系ファイバに含まれているモードである。

集積光学系における重要な構成素子はビームスプリッタとコンバイナである。一般には $N \times N$ スプリッタと称される。 $N$ と $N$ は入力側と出力側の数である。これらのスプリッタの理想としては以下のような特性が求められる。

- 小型であること（比較的小さな寸法）
- 偏光に依存しないこと
- 製造偏差にはば不感であること
- 製造が容易であること

さらに分割又は合成特性が寸法の幾何学的変化によって簡単に種々の使用に適合できることである。種々異なるビームスプリッタとコンバイナは既に実現され

ている。：

- 対称形Y分岐〔5〕は強度特性が50%/50%の1×2分波器に対する簡単な解決手段である。しかしながら別の強度特性を有する非対称形Y分岐〔6〕は、2つの出力側の間の結合作用のためにしばしば偏光に依存する。Y分岐の製造



に対しては高い分解能（解くに先端間隙において）が望まれる。このY分岐は製造精度に非常に敏感である。

— 2つの並列な導波路を備えた方向性結合器 [1] は狭幅な間隙によって分離され、 $2 \times 2$  スプリッタとして作用する。しかしながら結合器波長は製造パラメータ、特に間隙の幅と深さに非常に敏感である。結合波長は偏光にも強く依存する [7]。間隙を持たない“2モード”干渉 (TMI) 結合器 [8] は  $2 \times 2$  スプリッタとしても作用する。しかしながら強度特性はY分岐の入力側と出力側の結合に大きく依存する。そのためこれは製造条件にも非常に敏感でもある。

— 集積形全反射ミラー [9] は  $1 \times 2$  スプリッタに対する小型の解決手段である。しかしながらこれには製造技術上において特別な要求が求められる。さらに分光特性のコントロールが難しく幾何学的寸法の精度にも大きく依存する。

— “フリースペース” スターカブラ [10] は  $N$  の入力側が導波されていないセクションにて回折により均一に  $N$  個の出力側へ分割される。そのような素子は

$N$  と  $N$  の数値が大きくなった場合にも良好に適する。しかしながらそれは  $1 \times 2$ ,  $2 \times 2$ ,  $1 \times 3$  スプリッタに対しては全く適さない。なぜなら強度分布の均質化の実現には常に困難が伴うからである。

近年ではマルチモード干渉 (MMI) 結合器 [11] [12] [3] が多く用いられている。この構成素子は複数のモードを伝搬する導波路セクションに分けられる。これらは例えば通常の導波路構造を十分なモードが伝搬されるまで拡張する形式で製造される。この場合まれに例えば横方向の伝搬が高められる。この自己結像特性の恩恵によってこの結合器は2次元 [12] 又は3次元 [11] のオーダーでの  $N \times N$  スプリッタとして作用する。この通常のMMI結合器は並列なエッジ [3] を有する素子である。但しこのMMI結合器は狭幅なエッジを有していてもよい。なぜなら本発明はちようどこの点に関しても係っているのでここでは“通常の”MMI結合器の特性を詳細に述べることが重要である。

MMI結合器について：

並列なエッジを有するMMI結合器の一般的な形態は図1aに示されている [3] [13]。通常の“完全干渉形  $N \times N$  - MMI結合器”は、コンポーネント

長さLによって特徴付けられ以下の式で表わされる。

$$L = \left(\frac{M}{N}\right) \cdot \left(\frac{3}{A}\right) \cdot L_c \equiv \left(\frac{M}{N}\right) \cdot \left(\frac{3}{A}\right) \cdot \frac{\pi}{(\beta_0 - \beta_1)} \equiv \left(\frac{M}{N}\right) \cdot \left(\frac{3}{A}\right) \cdot \left(\frac{4}{3}\right) \frac{W^2}{\lambda}$$

... .. (式 1)

当該結合器の種類に対しては $A = 1$ である。この場合 $\beta_0$ と $\beta_1$ はMMI結合器の最初の2つのモードの伝搬定数である。WはMMI結合器の幅であり、nはMMIセクションのインデックスである。 $\lambda$ は真空における波長である。Nは像の数、すなわち入力側と出力側の数である。Mは整数である。NとMはスプリットとの関連性がない。像は全て同じ強度を有している。パラメータbは任意に選択可能である。実数における有理数 $(M/N)$ は密であるので、各長さLは、セルフイメージングの生ぜしめられる個所の長さとして任意に良好な近似において表わすことができる。しかしながらこの場合像は重畳され、出力側における全ての像パターンは像全体の干渉の総和である。

パラメータbが0か又は $W/N$ である場合には、セルフイメージングは対毎にコヒーレントに重畳する。これは像の数の低減と、種々の出力側における不均一な強度特性につながる。このようなケースは通常の“重畳形干渉”MMI結合器の場合である。これは不均一な強度特性を有し得るが、制御はできない。この特性は当該素子の種別毎に固定的に規定される。

通常の“重畳形干渉”MMI結合器における2つの特殊な場合が文献において研究されている。この2つ

のケースでは像の重畳により像の対の消失（破壊的重畳）と、同じ強度の像の対が生じる。それにより残留する像には均等な強度が得られる。通常の“対称形干渉” $1 \times N$ -MMI結合器（図1b）では対称モードのみが励振される[13]

[14]。長さLは $(M/N) \times (3L_c/4)$ である。この場合 $L_c$ は前記式1に規定されている。Aの値はこの種の結合器に対しては4である。対称モードは入力側にて用いられるべきである。

通常の“不完全干渉” $2 \times N$ -MMI結合器では、モード2, 5, 8……は励

振されない [3] [13]。これは2つの入力側が $W/3$ と $2W/3$ に配置されることによって達成される (図1c)。ここにおける長さ $L = (M/N) \times L_c$ である。入力モードは対称であり、 $N$ は直線である。 $A$ の値はこの種の結合器の場合3となる。

同じよう論議は“狭幅エッジ形”MMI結合器に対しても行うことができる。これはマルチモード導波路セクションである。ここではエッジが並列ではなく半径方向のラインに置かれる。マルチモードセクションでは幅は線形的に縮小されるか拡大される。この構成部分は半径方向又は円柱座標で(半径 $r$ , 角度 $\alpha$ )示される。新たな座標では光は半径方向に伝搬し、MMI結合器のエッジは一定の角度座標によって規定される。新たな座標系においては“狭幅エッジ”を有する

MMI結合器は、通常の並列エッジを有するMMI結合器と同じような式によって表わされる。同じ物は一致する結像によっても得られる [15]。以下では次のようなことがわかる。:

まず第1は入力側と出力側が“狭幅エッジ形”MMI結合器の場合では直線ではなく円弧(一定の半径を有するライン)上におかれる。

第2は長さ $L$ がここでは以下のようにになる。

$$L = |R_1 - R_0| = \left( \frac{M}{N} \right) \cdot \left( \frac{3}{A} \right) \cdot \left[ \frac{4}{3} n \frac{(R_0 \Delta \alpha) \cdot (R_1 \Delta \alpha)}{\lambda} \right] \dots \dots \text{(式 2)}$$

この場合 $R_0$ ,  $R_1$ は入力側及び出力側円弧の半径座標である。角度 $\Delta \alpha$ は“狭幅エッジ”間の角度である。 $(R_0 \cdot \Delta \alpha)$ と $(R_1 \cdot \Delta \alpha)$ は“入力及び出力領域”として解釈可能である。前記式1では幅 $W$ が“入力及び出力領域”の幾何学的平均値によって置き換えられている。パラメータ $A$ は並列エッジに対するように規定される。

MMI結合器は三次元形でも実施可能である [11]。この説明も前述のように行うが、この場合は幅のみではなく、幅( $x$ 軸方向)と厚さ( $y$ 軸方向)が考慮される。セルフイメージング作用により入力側の二次元アレイは出力側の二次元アレイへイメージングされる。狭幅エッジを有する三次元MMI結合器は球座

## 標変換によって並列エッジを有する三次元MMI結合器

の場合に低減され得る。それにより入出力側は球面となる。

MMI結合器は大きな利点を有している。すなわちこの結合器（通常の二次元ないし三次元MMI結合器も“狭幅エッジ形”の二次元ないし三次元MMI結合器も含めて）は小型であり[16][17]、非常に良好な偏光に対する非依存性を持ち（横方向モード伝搬が強い）、製造偏差にも不感であり、さらに製造も容易である。MMI結合器は $N \sim$ と $N$ の値が小さい $N \times N$ スプリッタとしても特に良好に適している。この結合器の欠点は通常のMMI結合器の実施形態においても“狭幅エッジ形”のMMI結合器の実施形態においても強度分布と位相分布が、異なる出力側において変化させられないことである。本発明はまさにこの点に主眼を置いている。

### 発明の課題

本発明の課題は、二次元又は三次元のMMI結合器の出力側における強度特性と位相特性を制御し変化できるようにすることである。幾何学的パラメータの変更によってはこの特性は連続的に変化する。特に興味深いことは $1 \times 2$ 連続可変形スプリッタと、2つの同じ出力側と1つの連続的に可変の出力側とを有する $1 \times 3$ スプリッタである。それらに対してはMMI結合器に対する新たな幾何学構造が開発される。

前記課題は請求の範囲第1項～10項に記載の本発

明の方法によって解決される。

可変の強度特性と位相特性を有する二次元又は3次元の新たなMMI結合器に対する新たな幾何学構成は一般的に通常の並列なエッジを有するMMI結合器における以下の変更からなる。

ー通常のMMI結合器を伝搬方向に沿って2つ又は3つの部分（セクション）に分割する。それにより各セクション自体がMMI結合器（場合によっては重畳された像を有する）となる。

ー各セクションを別個に変換する。それによりこの結合器の特徴付けられるセル

ファイメージング作用は維持され続けるか又は第1近似において維持され続ける。特に二次元ないし三次元変換器として適しているのは幅及び長さの変更、横方向エッジの傾斜位置、横方向シフト及び入力側導波路と出力側導波路の傾斜位置、入力側と出力側の寸法の変更である。

ー変換部分を直接的に、セクション間に接続導波路を用いることなく直列にセットする。なぜなら各セクションが変換されるので像の数とその相対的な位相は次のセクションの入力側にて変化するからである。これにより全素子の端部における干渉結果は変化する。各セクションにて用いられた変換特性に応じて、存在する出力側における強度特性が変化し、新たなセルフイメージングと任意に生ぜしめらる輻射が出現する。

ー新たな出力側導波路は、新たに現れるセルフイメー

ジングを導き任意に生ぜしめられる輻射を集束するために形成される。

二次元又は三次元のマルチモード干渉型(MMI)結合器の出力側における位相特性のみを変化させるためには、第1と第3のステップを省くことが可能である。この位相特性の変化のための新たな手法は以下のステップで表わされる。

ー通常のMMI結合器を変換する。それによりこの結合器の特性的なセルフイメージング作用が維持され続ける。変換後は入力位置と出力位置が曲線又は曲面上におかれる。この線又は面は入力側フロント及び出力側フロントとして表わされる。特に2次元又は三次元変換器として適していることは、幅及び長さの変更、横方向エッジの傾斜位置、横方向シフト及び入力側導波路と出力側導波路の傾斜位置、入力側と出力側寸法の変更である。

ー入力側及び出力側導波路は、入力側及び出力側フロントとして別の線上又は面上、例えば直線上又は平面上に位置される。

この方法は次のように作用する。すなわち変換の選択に応じて入力側及び出力側フロントがシフトし、その湾曲部が同時に変化する。入出力側の位置と入出力側フロントの位置との間の違いは構成要素端部における位相特性の変化を生ぜしめる。それ故にこの特性は変換の適当な選択によってコントロールできる。

これらの2つの一般的な方法からは例えば以下のような非常に興味深い特別な方法が可能である。

第1の方法においては入力光光度の一部がMMI結合器の分割作用を阻害することなく分岐される。この方法は以下のステップで表わされる。

—通常のMMI結合器を2つのセクションに分割する ( $z = z_0$ の個所における分割)。  $z_0$ の選択によっては、分岐された光のパーセント成分がコントロールされる。

—第1のMMI結合器セクションを一方又は両方の側で拡張する。それによって光の一部が第2のMMI結合器セクションには到達せず、輻射成分として一方又は両方の側で生じる。この任意に生ぜしめられる輻射は新たに挿入される導波路によって収集される。

—光の残留成分を第2のMMI結合器セクション内で伝搬させ、当該結合器セクションの出力側にて干渉させる。第1のMMI結合器セクションの拡張による干渉像の障害成分は、位置と、幅及び入出力導波路への入射角度並びに第2のMMI結合器セクションの長さの簡単な変更によって補償される。

第2の特別な方法は第1の一般的な方法（請求の範囲第1項）に続いて以下のような特徴を有する。

—横方向エッジの傾斜位置（及びそれに結合される長さ及び入出力導波路の位置及び方向）が二次元又は三次元変換器として用いられる。この変換と所要の整合

は、座標変更（円筒状又は球状変換）によって簡単に解析し得る。変換の後では各セクションの入出力フロントは円又は球面上にある。これらのフロントの不一致のためにMMI結合器セクション間の位相シフトが生じる（この作用は次の第3の特別な方法に基づいて説明される）。それにより全構成部材の出力側における干渉像と強度特性が変化する。

第3の特別な方法は第2の特別な方法の変化例であり、それは通常のMMI結合器の中心部のみを分割させることによって特徴付けられる（図2）。中心まで幅をリニアに縮小（拡大）し、中心から再びリニアに初期の値まで拡大（縮小）する。各セクションの長さは前記式（2）に従って整合される。変換される構成

部材はこれにより“バタフライ（反転バタフライ）”形MMI結合器として表わされる。MMI結合器のセルフイメージング特性の獲得は以下のような場合に最良に保証される。

- a) 全伝搬に沿って強くマルチモードに保持するために横方向インデックスガイダンスが十分に強い場合、
- b) 横方向エッジ間の角度 $\Delta\alpha$ が小さく維持され、それにより並列な近似が依然として有効である場合

$\Delta\alpha$ が小さい場合には前記式(2)の値( $R_0 \cdot \Delta\alpha$ )と( $R_1 \cdot \Delta\alpha$ )は、非常に良好に横方向のディメンション $W_0$ 及び( $W_0 + dW_1 + dW_2$ )によって近似され得る。この場合前記 $dW_1$ と $dW_2$ は“バタフラ

イ”型MMI結合器に対しては負で、“反転バタフライ”型に対しては正である。入力側は第1のMMI結合器によって出力側フロント（円弧 $A_0$ ）上にセルフイメージングされる。しかしながら第2のMMI結合器における入力フロントは円弧 $E_1$ である。2つの円弧 $A_0$ と $E_1$ の間の領域（図2斜線部分）は位相差を引き起こす。これはセルフイメージングの横方向位置に依存する。この位相差は $dW_1$ と $dW_2$ の選択によって連続的に変化され、構成部材（干渉プロセッサ）の出力側における強度特性と位相特性を制御する。第2の一般的方法によれば入出力側も円弧 $E_0$ 及び $A_1$ 上の代わりに例えば直線上に位置させることが可能である。それにより強度特性ではなく位相特性のみが変化される。

前述した方法は、 $1 \times 1$  - ,  $1 \times 2$  - ,  $1 \times 3$  - スプリッタを製造するために特殊な方法によって補足される。幾何学的パラメータの連続的な変化によっては当該のスプリッタにおいて強度特性がコントロールされ得る。そのような特殊な方法は図3～図5に基づき説明される。図3では $1 \times 1$  - 又は $1 \times 2$  - スプリッタを製造するための特殊な方法が説明される。光度の制御可能な成分はコレクタ導波路によって収集され、この光の残りの成分は出力側（図3a）において又は第2の出力側（図3b）において均等に分布される。コレクタ導波路は例えばフォトダイオードに接続され

る。このフォトダイオードはコントロールモニターとして使用される。このフォトダイオードは例えば図3 a, bの斜線で示された領域に直接配置することもでき、吸収領域として作用されることも可能である。図4 a, bには1×2ースプリッタを連続的に制御可能な出力側強度特性を用いて実現するための特殊な方法が示されている。図5 aでは、同じ強度の2つの出力側を有する1×3ースプリッタを実現するための特殊な方法が説明される。第3の出力側と、同じ強度の2つの出力側との間の比は連続的に制御可能である。図5 b, cでは1×3ースプリッタを実現するための特殊な方法が説明される。3つの出力側の間の強度特性は可変である。

これらの発明の利点は以下の通りである。

一通常のMMI結合器の全ての利点は当該の新たなMMI結合器にもそのまま受け継がれる。但し新たな方法の適用によって新たに強度特性と位相特性の変化が可能となる。通常のMMI結合器のように当該の新たな構成部材も小型であり、偏光に対する非依存性も良好である（横方向モード伝搬が強いため）。さらに製造偏差にもより一層不感でありまた製造も容易である。設計仕様パラメータの簡単な幾何学的変更によっては当該の新たな方法において、異なる出力側における強度特性と位相特性が変化する。この新たな方法により、その特性を種々異なる使用要求に適合させることがで

きるようになる。例えばMMI結合器のスプリッタ機能を阻害することなく、光度の比較的小さい選択可能な成分をコントロールモニター上にもたらしことが可能である（図3 a, b）。さらなる例として制御不能な不均一な出力強度を有する1×2, 1×3スプリッタも偏光に依存しないようにそして許容製造偏差内で簡単にかつ小型に製造可能である。“フリースペース形”スターカブラと比較して当該の新たなMMI結合器はNとNの値が小さいN×Nースプリッタとして特に良好である。当該の新たなMMI結合器は“フリースペース形”スターカブラやY分岐におけるような出力側の間の“先端”間隙による問題も有していない。

図面の説明



図1 a は並列なエッジを有するMMI結合器 [3] [13] の一般的な形態を示した図である。通常の“完全干渉型  $N \times N$  -MMI結合器”は、

$$L = (M/N) \times 3 L_c,$$

{この場合  $L_c$  は前記式1によって与えられる ( $A=1$ ) }

によって与えられる構成長さ  $L$  によって特徴付けられる。

図1 b は、対称モードのみの励振による通常の“対称干渉型”  $1 \times N$  -MMI結合器である [13] [14]。長さは  $A=4$  の場合以下の通りである。

$$L = (M/N) \times (3 L_c / 4)$$

図1 c は通常の“不完全干渉形”  $2 \times N$  -MMI結合器である。この場合モード2, 5, 8……は励振されない [3] [13]。長さはここでは  $A=3$  の場合以下の通りである。

$$L = (M/N) \times L_c$$

入力モードは対称で  $N$  は直線である。

図2 a は、“バタフライ”形MMI結合器である。この結合器では中心までは幅がりニアに縮小され、そこからは再びニアに初期の値まで拡大されている。各セクションの長さは前記式2に従って適合される。

図2 b は、“反転バタフライ”形MMI結合器である。この結合器では中心までは幅がりニアに拡大され、そこからは再びニアに初期値まで縮小される。各セクションの長さは前記式2に従って適合される。

図3 は  $1 \times 1$  又は  $1 \times 2$  スプリッタをコレクタ導波路の構成挿入でもって製造するための特殊な方法を表わした図である。この場合図3 a はコレクタ導波路を有する  $1 \times 1$  スプリッタを示し、図3 b はコレクタ導波路を有する  $1 \times 2$  スプリッタを示している。

図4 は、出力強度特性が制御される  $1 \times 2$  スプリッタとしての“バタフライ形”及び“反転バタフライ形”MMI結合器を示した図である。この場合図4 a には、 $1 \times 2$  スプリッタとしての“(反転)バタフライ 3 dB”MMI結合器が示されている。2つの出力側の間の強度特性は、幅  $dW$  の縮小係数又は拡大係数によっ

て制御される(式3)。図4bには1×2スプリッタとしての“(反転)バタフライ3dB”MMI結合器が示されている。2つの出力側の間の強度特性は、幅dWの縮小係数又は拡大係数によって制御される(式4)。

図5は、出力強度特性が制御される1×3スプリッタとしての“バタフライ形”及び“反転バタフライ形”MMI結合器を示した図である。この場合図5aには、1×3スプリッタとしての“(反転)バタフライ対称干渉型1×2”MMI結合器が示されている。外側の出力側と内側の出力側との間の強度特性は、幅dWの縮小係数又は拡大係数によって制御される(式5)。図5bには1×3スプリッタとしての“(反転)バタフライ”MMI結合器の第1の形式が示されている。この場合強度特性は幅dWの縮小係数又は拡大係数によって制御される。

$dW = 0.38 \times W_0$  の値に対しては  $P_1 \cong P_2 \cong 0.44 \times P_{in}$  及び  $P_3 \cong 0.12 P_{in}$  である。

図5cは1×3スプリッタとしての“(反転)バタフライ”MMI結合器の第2の形式が示されている。この場合強度特性は幅dWの縮小係数又は拡大係数によって制御される。

$dW = -0.22 \times W_0$  の値に対しては  $P_1 \cong P_2 \cong 0.44 \times P_{in}$  及び  $P_3 \cong 0.12 P_{in}$  である。

#### 第1図

第1図のa)には、平行な側面を有するMMI結合器の一般的な形状が示されている[3][13]。通常の“完全干渉N×N-MM I結合器”は、 $L = (M/N)^2 \cdot 3L_c$ により定められるコンポーネントの長さLにより特徴づけられている。この場合、 $L_c$ は式1により定められている( $A=1$ )。ここで $\beta_0$ と $\beta_1$ は、MMI結合器の最初の2つのモードの伝搬定数である。WはMMI結合器の幅であり、nはMMIセクションにおけるインデックスである。 $\lambda$ は真空中の波長である。Nは像の個数であり、つまりは入/出力側の個数でもある。Mは整数である。NとMとは約数が異なる。各像はすべて同じ強度を有する。パラメータb

は任意に選定してよい。有理数  $(M/N)$  は実数において密であるので、各長さ  $L$  はセルフイメージないし自己結像 (Selbstabbildung) において現れる長さとして任意の良好な近似で表せる。しかしながらこの場合、各像自体がオーバーラップしている可能性があり、出力側における全体の像パターンはこれらの像すべてのコヒーレントな和である。

パラメータ  $b$  が 0 または  $W/N$  に等しければ、自己結像は対になってコヒーレントにオーバーラップする。このことにより像の個数が減少することになり、それぞれ異なる出力側に不均一な強度特性が生じるように

なる。この場合には、通常の”オーバーラップ干渉” MMI 結合器を用いる。これは不均一な強度特性を有する可能性があるが、これは制御不可能である。この特性は、それらのコンポーネントの各々の種類ごとに固定的に規定されている。

通常の”オーバーラップ干渉” MMI 結合器の 2 つの特別な事例は、文献中で特に研究されている。これら 2 つの事例の場合、像のオーバーラップにより、消失する像の対 (破壊的なオーバーラップ) および同じ強度の像の対とが生じる。このことにより、残った像については均一な強度が得られる。通常の”対称干渉”  $1 \times N$ -MMI 結合器 (第 1 図の b) の場合には、対称モードだけが励振される [13] [14]。長さは  $L = (M/N) \cdot (3L_c/4)$  であり、ここにおいて  $L_c$  は式 1 で定義されている ( $A = 4$ )。対称モードは入力側で用いられることになる。通常の”不完全干渉”  $2 \times N$ -MMI 結合器の場合、モード 2, 5, 8... は励振されない [3] [13]。このことは、2 つの入力側が  $W/3$  および  $2W/3$  に配置されることにより達成される (第 1 図の c)。この場合、長さは  $L = (M/N) \cdot L_c$  であり、この場合、 $A = 3$  である。入力モードは対称であり、 $N$  は偶数である。

## 第 2 図

特別な方法は以下のことにより特徴づけられている。すなわち、左右の側面の傾斜設定 (およびこれに伴う長さならびに入出力導波体の位置と方向の整合) は、2次元または3次元の変換として用いられる。この変換ならびに必要な整合

は、単に座標変換（円柱座標変換または球面座標変換）により解析できる。変換後、各セクションの入／出力フロントは円形平面または球面上にある。これらのフロントの不一致から、各MMIセクション間で位相差が生じる。このことにより、コンポーネント全体の出力端における干渉像ならびに強度特性が変化する。第2図には、この方法の変形実施例が示されており、この場合、通常のMMI結合器が中央で分けられているだけである。第2図のa)は”バタフライ形”MMI結合器である。幅は中央部まで直線的に小さくなり、中央部からは元の値になるまで再び直線的に大きくなる。各セクションの長さは式2にしたがって整合される。

第2図のb)は”逆バタフライ形”MMI結合器である。中央部まで幅は直線的に大きくなり、中央部からは元の値になるまで再び直線的に小さくなる。各セクションの長さは式2にしたがって整合される。

MMI結合器の自己結像特性の保持は、以下の場合に最良に保証される。すなわち、1) 伝搬全体に沿って強くマルチモードで保つのに側面のインデックス設定が著しく十分である場合、および2) 各側面間の角

度 $\Delta\alpha$ が小さく保たれており、したがって近軸の近似が常に十分である場合である。 $\Delta\alpha$ が小さいとき、式2において値 $(R_0, \Delta\alpha)$ および $(R_1, \Delta\alpha)$ は横寸法 $W_0$ と $(W_0 + dW_1 + dW_2)$ に著しく良好に近似することができる。この場合、 $dW_1$ および $dW_2$ は、”バタフライ形”MMI結合器については負である（”逆バタフライ形”MMI結合器については正である）。

各入力側は、第1のMMIセクションを通して出力フロント（円弧 $A_0$ ）上でセルフイメージないし自己結像される。しかし、第2のMMIセクションにおける入力フロントは円弧 $E_1$ である。これら両方の円弧 $A_0$ と $E_1$ との間の領域（第2図の斜線部分）により、自己結像の横（方向）位置に依存する位相差が引き起こされる。これらの位相差は、 $dW_1$ と $dW_2$ の選定により連続的に変化させることができ、このコンポーネントの出力側における強度特性ならびに位相特性を制御することができる（干渉プロセス）。2番目の一般的な方法によれば、入／出力側を、円弧 $E_0$ と $A_1$ 上ではなく直線上に配置することもできる。これによ

り位相特性だけが変えられ、強度特性は変えられない。

### 第3図

これは、コレクタ導波体を採用した $1 \times 1$ または $1 \times 2$ ースプリッタを製造するための特別な方法である。

このコレクタ導波体はたとえばフォトダイオードへ案内することができ、これはコントロールモニタとして用いられる。

a) これはコレクタ導波体を備えた $1 \times 1$ ースプリッタである。通常の”対称干渉” $1 \times 1$ -MMI結合器（この場合 $N=1$ ,  $M=1$ ,  $A=4$ , 式1による $L$ ）は、位置 $z = z_0$ において2つに分岐される。第1のセクションは一方の側において値 $dW$ だけ広げられる。この側において、コレクタ導波体により光の放射が収集される。入力導波体の僅かなずれ $dx$ により、元の自己結像特性を再び形成することができる。つまりただ1つの像が出力側に現れる。 $z_0$ の選定により、コレクタ導波体における強度を選ぶことができる。この方法は、 $z_0$ の値が小さいときに殊に良好に適している。 $z_0$ ,  $dW$ ,  $dx$ の精確な値はシミュレーションプログラム（たとえばBPM [2] またはMA [3]）により算出できる。

変形実施例として、光吸収性材料をMMIセクションの拡開された領域（斜線の施された領域）に挿入することができる。この場合、光吸収性材料の入力側にはいかなる反射も生じないようになる。導波体により収集されることなく、放射がそのまま吸収される。

b) これはコレクタ導波体を備えた $1 \times 2$ スプリッタである。通常の”対称干渉” $1 \times 2$ -MMI結合器（この場合 $N=2$ ,  $M=1$ ,  $A=1$ , 式1による $L$ ）

は、位置 $z = z_0$ において2つに分けられる。第1のセクションは一方の側で値 $dW$ だけ広げられる。この側において、コレクタ導波体により光の放射が収集される。入力導波体のわずかなずれ $dx$ により、元の自己結像特性を再び形成することができる。つまり2つの像が2つの出力側において等しい強度で現れる。 $z_0$ の選定により、コレクタ導波体における強度を選ぶことができる。この方法は、 $z_0$ の値が小さいときに殊に良好に適している。 $z_0$ ,  $dW$ ,  $dx$ の精確な値は

、シミュレーションプログラム（たとえばBPM [2] またはMA [3]）により算出できる。

変形実施例として、光吸収性材料をMMIセクションの拡開された領域（斜線の施された領域）に挿入することができる。この場合、光吸収性材料の入力側にはいかなる反射も生じないことになる。導波体により収集されることなく、放射がそのまま吸収される。

#### 第4図

ここでは”バタフライ形”および”逆バタフライ形”MMI結合器が、制御される出力強度特性を有する1x2スプリッタとして構成されている。出力強度は、単に形態的特性パラメータを変えることで選定できる（破線は”逆バタフライ”MMI結合器であるとみなす）。

a) これは1x2スプリッタとしての”（逆）バタフライ形3dB”-MMI結合器である。通常の”不完全干渉3dB-MM I結合器（第1図のcによる2x2-MM I結合器、この場合 $M=1$ ， $N=2$ ，および $A=3$ とする式1による長さ）は、中央部分で分けられて（第2図のa、bのような）”バタフライ形”または”逆バタフライ形”MMI結合器に変換される。幅の低減（”バタフライ形”）または拡大（”逆バタフライ形”）は対称に（両側で均等に）行われ、つまり $dW_1=dW_2=dW/2$ である（第2図のa、b）長さは整合される。半分のMMIセクションに対し、 $M=1$ ， $N=4$ ， $A=3$ とする式2により長さ $L$ が定められる。 $\Delta\alpha$ が小さいとき、式2において値 $(R_0, \Delta\alpha)$ および $(R_1, \Delta\alpha)$ を横寸法 $W_0$ および $(W_0+dW)$ にきわめて良好に近似させることができる。この場合、 $dW$ は、”バタフライ形”MMI結合器については負である（”逆バタフライ形MMI結合器については正である）。入力強度 $P_{in}$ が1に正規化されていれば、”クロス”強度 $P_c$ は次式により与えられる：

$$P_c = 1/2 \cdot (1 - \sin((\pi/2) \cdot (dW/W_0))) \quad (式3)$$

”バー”強度 $P_b$ は理想的には $P_b = 1 - P_c$ のときに得られる。

b) これは1x2スプリッタとしての”（逆）バタフライ形クロス”-MMI結

合器である。通常の”不完全干渉クロス-MM I 結合器”（第1図のcによる2 x 1-MM I 結合器、この場合 $M=1$ ， $N=1$ ，および $A=3$ とする式1による長さ）が、中央部で分けられて（第2図のa，bのような）”バタフライ形”または”逆バタフライ形”MM I 結合器に変換される。この場合、幅の低減（”バタフライ形”）または拡大（”逆バタフライ形”）は一方の側においてしか行われず、つまり $dW_1=dW$ であり $dW_2=0$ である（第2図のa，b）。長さは整合される。半分のMM I セクションについては、 $M=1$ ， $N=2$ ， $A=3$ のときの式2による長さ $L$ により定められる。 $\Delta\alpha$ が小さいとき、式2において値 $(R_0, \Delta\alpha)$  および  $(R_1, \Delta\alpha)$  を横寸法 $W_0$  および  $(W_0+dW)$  にきわめて良好に近似させることができる。この場合、 $dW$ は、”バタフライ形”MM I 結合器については負である（”逆バタフライ形”MM I 結合器については正である）。

入力強度 $P_{in}$ が1に正規化されていれば、”クロス”強度 $P_c$ は次式により定められる：

$$P_c = \cos^2((\pi/2) \cdot (dW/W_0)) \quad (\text{式4})$$

”バー”強度 $P_b$ は理想的には $P_b = 1 - P_c$ により得られる。

この場合、このコンポーネント（第4図のa，b）は1 x 2-ビームスプリッタとしてはたらき、その際、両方の出力側間の強度特性は、幅の低減係数または拡大係数 $dW$ により制御される。

なお、入／出力側は（第2図のように）円弧上ではなく直線上に配置されていることに注意されたい。このように第2の一般的な方法によれば、出力側では位相特性だけが変えられ、強度特性は変えられない。

#### 第5図

ここでは”バタフライ形”および”逆バタフライ形”MM I 結合器が、制御される出力強度特性を有する1 x 3スプリッタとして構成されている。出力強度は、単に形態的特性パラメータを変えることで選定できる（破線は”逆バタフライ形”MM I 結合器であるとみなす）。

a) これは1 x 3スプリッタとしての”（逆）バタフライ形対称干渉1 x 2”-MM I 結合器である。通常の”対称干渉1 x 2-MM I 結合器”（第1図のb、

この場合 $M=1$ ， $N=2$ ，および $A=4$ のときの式1による長さ）が中央部で分けられて、“バタフライ形”または“逆バタフライ形”MMI結合器に変換される。幅の低減（“バタフライ形”）または拡大（“逆バタフライ形”）は対称に（両側で均等に）行われ、つま

り $dW_1=dW_2=dW/2$ である（第2図のa，b）。長さは整合される。半分のMMIセクションに対し、 $M=1$ ， $N=4$ ， $A=4$ のときの式2により長さ $L$ が定められる。 $\Delta\alpha$ が小さいとき、式2において値（ $R_0$ ， $\Delta\alpha$ ）および（ $R_1$ ， $\Delta\alpha$ ）を横寸法 $W_0$ および（ $W_0+dW$ ）にきわめて良好に近似させることができる。この場合、 $dW$ は“バタフライ形”MMI結合器については負である（“逆バタフライ形”MMI結合器については正である）。対称性の理由から、 $P_1=P_3$ である。この場合、入力強度 $P_{in}$ が1に正規化されていれば、強度 $P_2$ は次式により与えられる：

$$P_2 = \sin^2((\pi/2 \cdot (dW/W_0))) \quad (\text{式5})$$

$P_1$ と $P_3$ は理想的には $P_1=P_3=(1-P_2)/2$ のとき得られる。外側の出力側と内側の出力側との間の強度特性は、幅の低減係数または拡大係数 $dW$ により制御される。

b) これは1 x 3スプリッタとしての“（逆）バタフライ形”MMI結合器である：第1の変形実施例。通常の“不完全干渉3dB-MM I結合器”（第1図のcによる2 x 2-MM I結合器、この場合 $M=1$ ， $N=2$ ，および $A=3$ のときの式1による長さ）が中央部で分けられ、（第2図のa，bのような）“バタフライ形”または“逆バタフライ形”MMI結合器に変

換される。幅の低減（“バタフライ形”）または拡大（“逆バタフライ形”）は対称に（両側で均等に）行われ、つまり $dW_1=dW_2=dW/2$ である（第2図のa，b）。長さは整合される。半分のMMIセクションに対し、 $M=1$ ， $N=4$ ， $A=3$ のときの式2により長さが定められる。 $\Delta\alpha$ が小さいとき、式2において値（ $R_0$ ， $\Delta\alpha$ ）および（ $R_1$ ， $\Delta\alpha$ ）を横寸法 $W_0$ および（ $W_0+dW$ ）にきわめて良好に近似させることができる。この場合、 $dW$ は“バタフライ形”MM



I 結合器については負である（“逆バタフライ形”MMI 結合器については正である）。入力導波体の位置は整合される。この入力導波体は（MMI 周縁部から測って）幅の6分の1のところに位置決めされる。このコンポーネントは1 x 3-ビームスプリッタとしてはたらく。各出力側間の強度特性は、幅の低減係数または拡大係数  $dW$  により制御される。殊に値  $dW = 0$  .

$3/8 * W_0$  のとき、 $P_1 \cong P_2 \cong 0$  . 4/4 であり、 $P_3 \cong$

$0.12 * P_{in}$  である。

c) これは1 x 3-スプリッタとしての”（逆）バタフライ形”MMI 結合器である：第2の変形実施例。通常の”対称干渉1 x 2-MMI 結合器”（第1図のbによる1 x 2-MMI 結合器、この場合、 $M = 1$ ， $N = 2$ ，および $A = 4$ のときの式1による長さ）が中央部で分けられ、（第2図のa，bのような）”バタフライ形”または”逆バタフライ形”MMI 結合器に

変換される。幅の低減（バタフライ形）または拡大（”逆バタフライ形”）は対称に（両側で均等に）行われ、つまり  $dW_1 = dW_2 = dW/2$  である（第2図のa，b）。長さは整合される。半分のMMI セクションについて、 $M = 1$ ， $N = 4$ ， $A = 4$ のときの式2から長さ  $L$  が定められる。 $\Delta \alpha$  が小さいとき、式2において値  $(R_0, \Delta \alpha)$  および  $(R_1, \Delta \alpha)$  を横寸法  $W_0$  および  $(W_0 + dW)$  にきわめて良好に近似させることができる。この場合、 $dW$  は、”バタフライ形”MMI 結合器については負である（”逆バタフライ形”MMI 結合器については正である）。入力導波体の位置は整合される。この入力導波体は（MMI 周縁部から測って）幅の4分の1のところに位置決めされる。このコンポーネントは1 x 3-ビームスプリッタとしてはたらく。各出力側間の強度特性は幅の低減係数または拡大係数  $dW$  により制御される。殊に値  $dW = -$

$0.22 * W_0$  に対し、 $P_1 \cong P_2 \cong 0$  . 4/4 \*  $P_{in}$  であり、 $P_3 \cong 0.12 * P_{in}$  である。

なお、第5図のa，b，cの各コンポーネントについて、入／出力側は（第2図のように）円弧上にではなく直線上に配置されていることに注意されたい。こ

のように第2の一般的な方法によれば、出力側において位相特性だけが変えられ、強度特性は変えられない。

#### 参考文献

- [1] T. Tamir: 'Integrated Optics', Topics in Applied Physics vol.7, Springer Verlag 2nd Edition, 1985, ISBN 0-387-09673-6.
- [2] Y.C. Chung and N Dagli 'An assessment of finite difference beam propagation method', J. Quantum Electronics, vol. 26, pp. 1335-1339, 1990
- [3] L. Soldano, F. Veerman, M. Smit, B. Verbeek, A. Dubost, E. Pennings:  
"Planar Monomode Optical Couplers based on Multimode Interference Effects", J. Lightwave Technology, Vol. 10, No 12, Dec.92, pp. 1843-1849.
- [4] R.M. Knox, P.P. Toullos: 'Integrated circuits for millimeter through optical frequency range' in Proc. Symp. Submillimeter waves, Polytechnic Inst. Brooklyn, Brooklyn, NY, Mar. 1970, pp. 497-516.
- [5] K. Tsutsumi et al. 'Analysis of single-mode optical Y-Junctions by Bounded step and bend approximation', J. Lightwave Technology, Vol.6,

pp. 590-600, 1988

[6] H. Yajima 'Coupled mode analysis of dielectric planar branching waveguides' J. Quantum Electronics, vol. 14, pp. 749-755, 1978

[7] L. Stoll, et al. 'compact and polarization independent optical switch on InP/InGaAsP' Proc. ECOC'92, Berlin, paper Tu B7.2, pp.337-340.

[8] M. Papuchon et al.: 'Electrically active optical bifurcation :BOA', Appl. Phys. Lett., vol. 31, pp. 266-267, 1977.

[9] M. Ikeda et al.: 'Loss-less 4x4 monolithic LD optical matrix switches', Photonic Switching'92, paper 2B 1, 1992.

[10] C. Dragone et al.: 'Efficient multichannel Integrated Optics Star coupler on Silicon', IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 1, pp. 241-243, 1989.

[11] O. Bryngdahl: 'Image formation using self-imaging techniques', J. Opt. Soc. Am. vol.63, p

p. 416-419, 1973.

[12] R. Ulrich et al.: 'Self-imaging in homogeneous planar optical waveguides' Appl. Phys. Lett., vol. 27, pp. 337-339, 1975.

[13] P. Besse, M. Bachmann, H. Melchior: "Phase relations in multi-mode interference couplers and their application to generalized integrated Mach-Zehnder optical switches", Proc. ECIO'93, Neuchatel, paper 222.

[14] J.M. Heaton, R.M. Jenkins, D.R. Wight, J.T. Parker, J.C.H. Birbeck, and K.P. Hilton, "Novel 1-to-N way integrated optical beam splitters using symmetric mode mixing in GaAs/AlGaAs multimode waveguides", Appl. Phys. Lett. 61 (15), pp. 1754-1756, 1992.

[15] M. Heiblum et al.: 'Analysis of curved optical waveguides by conformal Transformation', J. Quantum Elec, vol. 11, pp. 75-83, 1975.

[16] L. Soldano, F. Veerman, M. Smit, B. Verbeeke: "High-performance monomode planar couplers

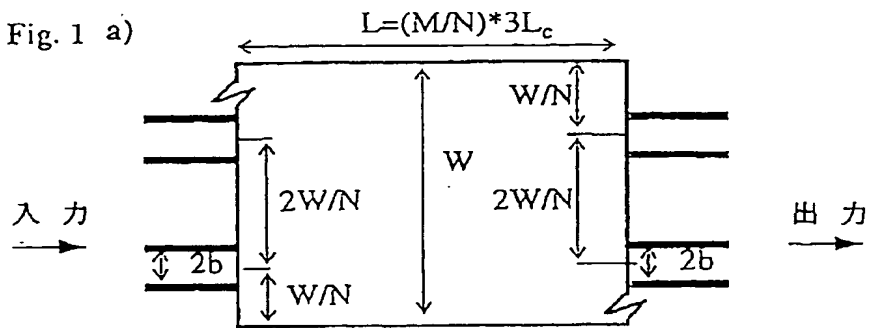
using a short multi-mode interference section",  
Proc. ECOC'91, Paris, paper TuB5-2, pp. 225-228.,  
1991

[17] E.C.M. Pennings et al.; 'Ultra-compact, low-loss directional coupler structures on InP for monolithic integration', Proc. ECOC'91, Paris, paper WeA7-3, pp. 405-408, 1991.

[18] L.B. Soldano: 'large optical bandwidth of InGaAsP/InP Multi-Mode Interference 3dB couplers', Proc. ECIO'93, Neuchatel, paper 14-10., 1993

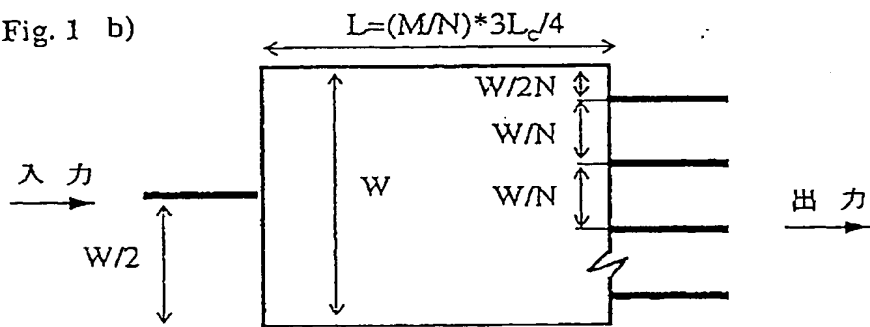
【図1 a】

Fig. 1 a)



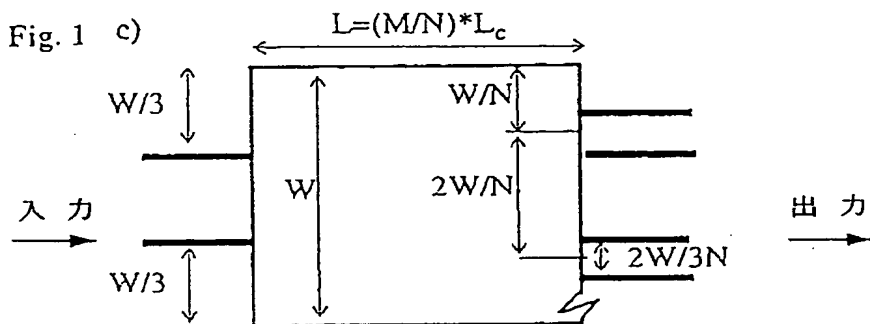
【図1 b】

Fig. 1 b)



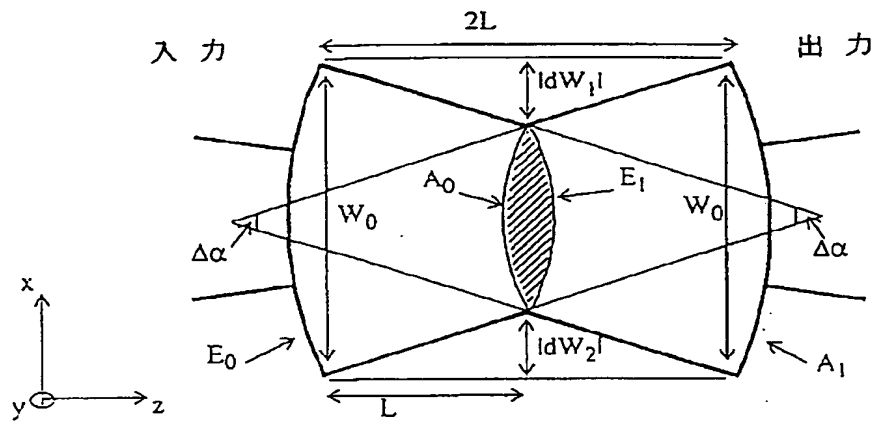
【図1 c】

Fig. 1 c)



【図 2 a】

Fig. 2 a)



【図 2 b】

Fig. 2 b)

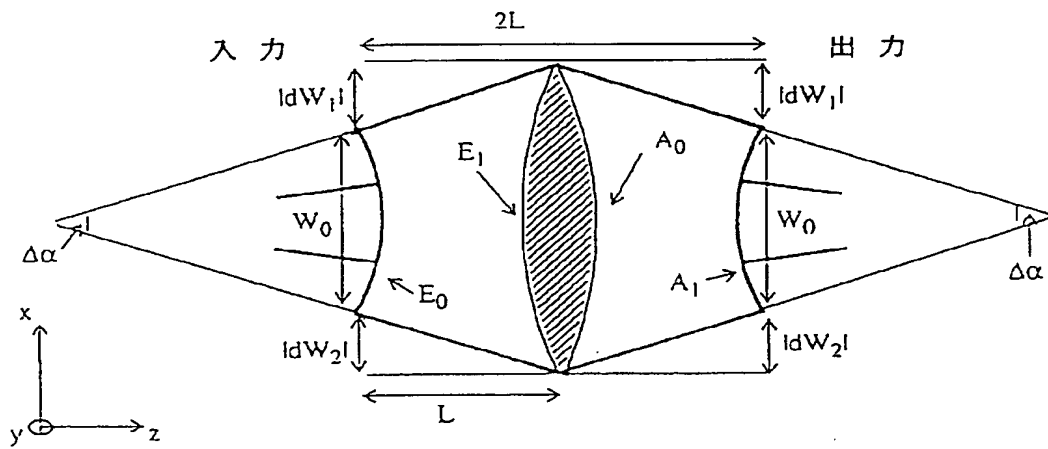
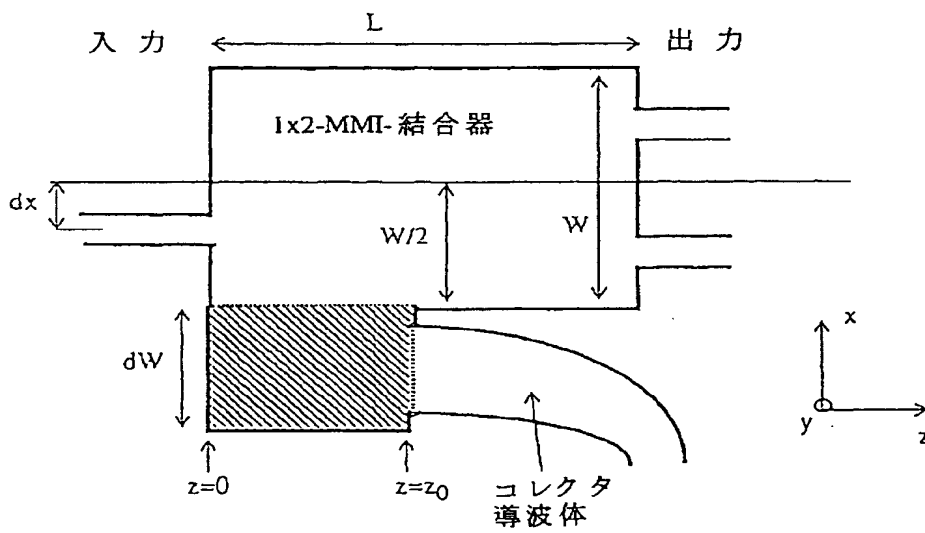
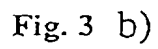




Fig. 3 a)



【図4】

Fig. 4 a)

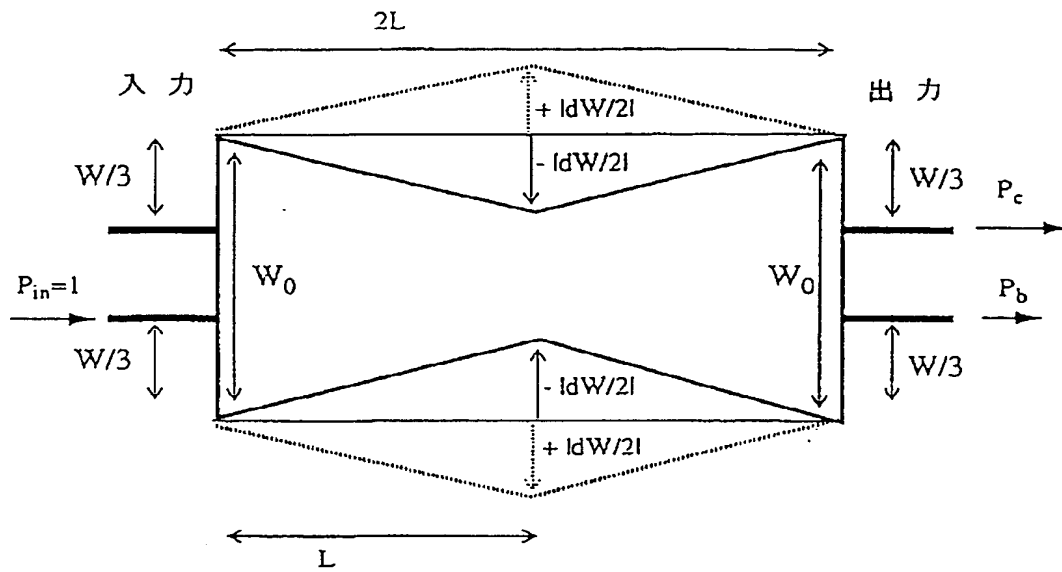
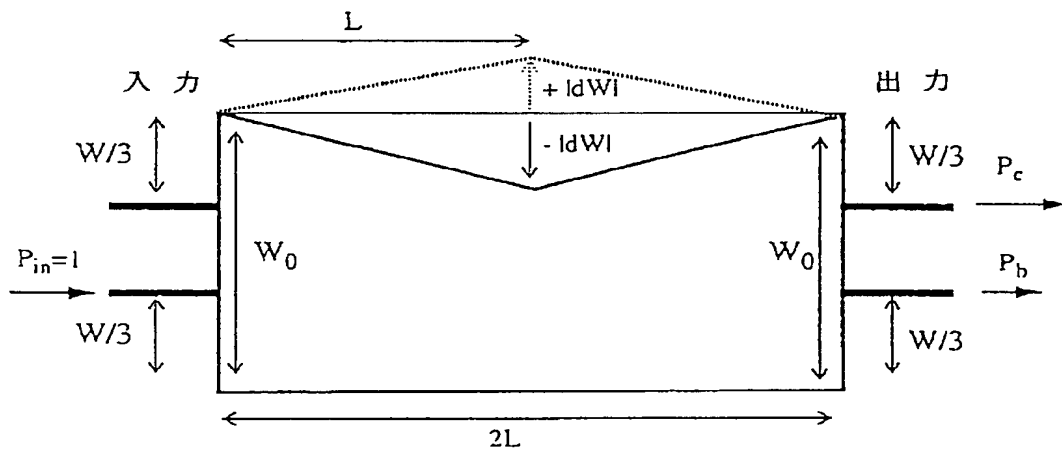


Fig. 4 b)



【図5】

Fig. 5 a)

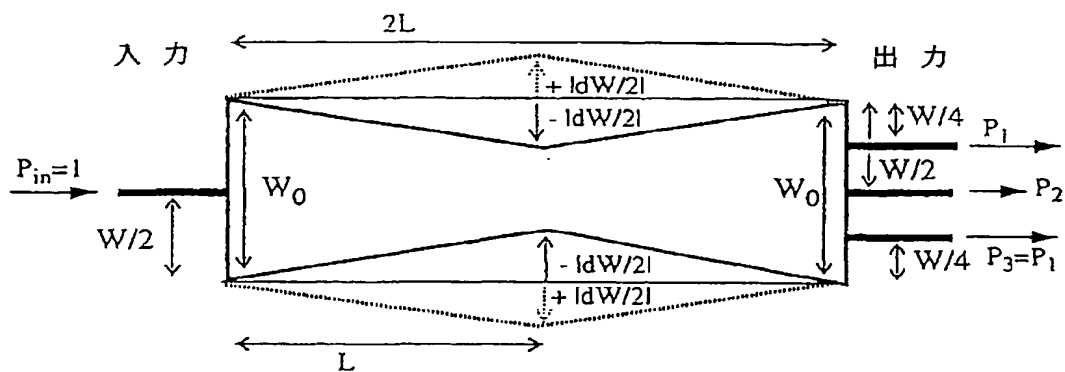


Fig. 5 b)

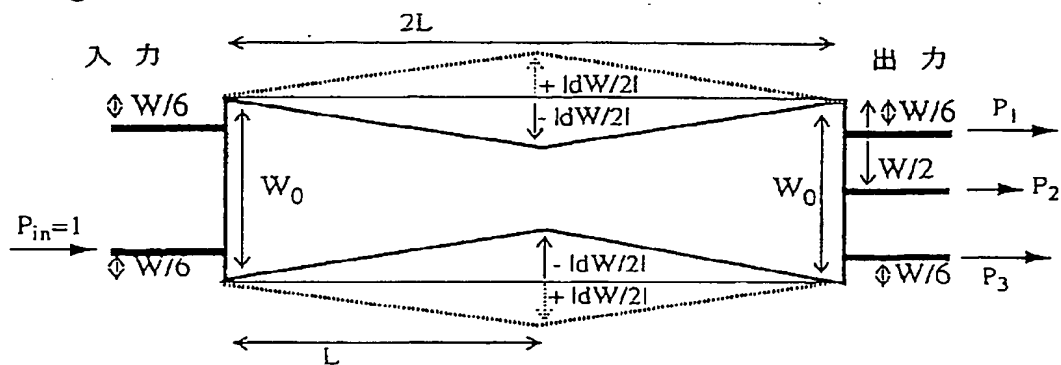
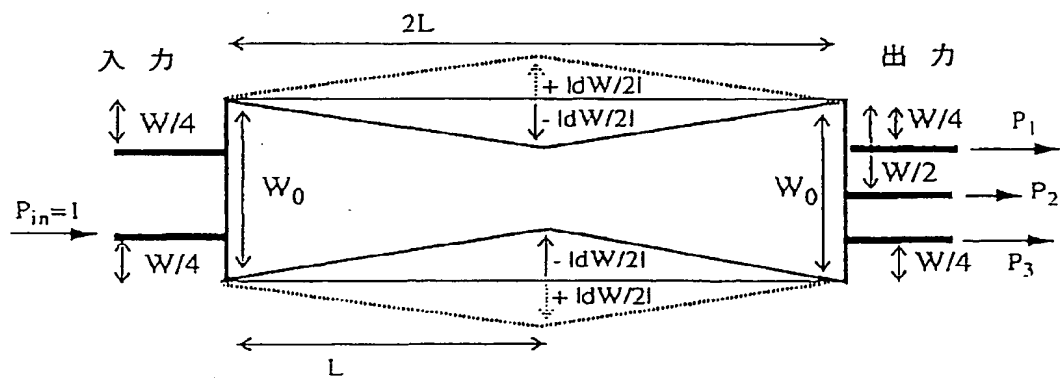


Fig. 5 c)



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/CH 94/00207

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b><br>IPC 6 G02B6/28 H01P1/16 H04B10/00   |   |  |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC   |   |  |
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b><br>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>IPC 6 G02B H01P   |   |  |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched   |   |  |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)  |   |  |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>   |   |  |
| Category *  | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No.                              |
| A   | US,A,4 087 159 (R.ULRICH) 2 May 1978<br>see figures 10,11,30,31<br>see claims 1,11,22-47<br>see column 12 - column 14<br>---  | 1,3,4,6  |
| X, P  | ECOC94, 20TH CONFERENCE ON OPTICAL<br>COMMUNICATION, 25 September 1994,<br>FIRENZE, ITALY<br>pages 669 - 672<br>P.A.BESSE ET.AL. 'New 1x2 multi-mode<br>interference couplers with free selection<br>of power splitting ratios'<br>see the whole document<br>---<br>-/- | 1,2,4,5,<br>8-10                                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.   |   |  |
| * Special categories of cited documents :<br>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance<br>"E" earlier document but published on or after the international filing date<br>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)<br>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means<br>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed<br>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention<br>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone<br>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.<br>"&" document member of the same patent family |   |  |
| Date of the actual completion of the international search   |   | Date of mailing of the international search report |
| 2 February 1995   |   | 08.02.95   |
| Name and mailing address of the ISA<br>European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2220 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016  |   | Authorized officer<br><br>Mathyssek, K             |

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/CH 94/00207

| C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |  |                       |
|--|--|-----------------------|
| Category   | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
| A  | WO,A,92 11550 (THE SECRETARY OF STATE FOR<br>DEFENCE IN HER BRITANNIC MAJESTY'S) 9 July<br>1992<br>see figures 10,13,15,21<br>see page 27, line 1 - line 34<br>see page 28, line 1 - line 21<br>see page 29, line 18 - line 34<br>see page 30, line 1 - line 16<br>----- | 1,4                   |

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

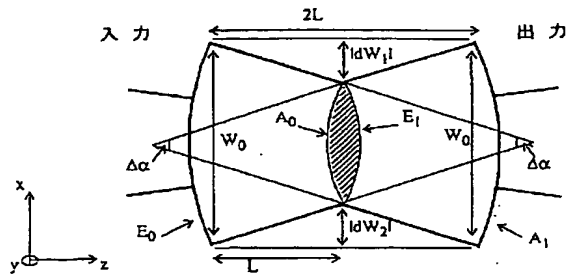
PCT/CH 94/00207

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| US-A-4087159                              | 02-05-78            | DE-A- 2445150              | 04-12-75            |
|   |                     | DE-A- 2506272              | 24-06-76            |
|   |                     | DE-B- 2511046              | 11-03-76            |
|   |                     | FR-A, B 2285623            | 16-04-76            |
|   |                     | GB-A- 1525492              | 20-09-78            |
|   |                     | JP-A- 51057457             | 19-05-76            |
| WO-A-9211550                              | 09-07-92            | CA-A- 2096420              | 21-06-92            |
|   |                     | EP-A- 0563084              | 06-10-93            |
|   |                     | JP-T- 6503902              | 28-04-94            |

【要約の続き】

ントロールによって行われる。

Fig. 2 a)



【公報種別】特許法第17条第1項及び特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第2区分

【発行日】平成14年3月19日(2002.3.19)

【公表番号】特表平8-508351

【公表日】平成8年9月3日(1996.9.3)

【年通号数】

【出願番号】特願平7-512937

【国際特許分類第7版】

G02B 6/28

H04B 10/02

【FI】

G02B 6/28 U

H04B 9/00 U

## 手続補正書

平成13年10月18日

特許庁長官殿

### 1. 事件の表示

平成7年特許願第512937号

### 2. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

名 称 コーニンクレッカ フィリップス エレクトロニクス エヌ  
ブイ

### 3. 代 理 人

住 所 東京都港区西新井2丁目7番4号

ドクトル・ゾンデルボフ法律事務所

電話 03(3563)9803(代機)

氏 名 (6/51) 丹野上 久 野 敏 雄



### 4. 補正により増加する請求項の数 2

### 5. 補正の対象図面名

請求の範囲

### 6. 補正対象項目名

請求の範囲

### 7. 補正の内容

図紙の送り

## 補 正 の 内 容

1. 入射面と出射面を有するマルチモード干渉(MMI)結合器であって、前記結合器は、伝播方向に沿って配置された少なくとも2つの区分を含み、それらは共に存在型マルチモード結合器を形成している形式のものにおいて、  
少なくとも1つの区分が、一次近傍において通常のMMI結合器とは異なる幾何学構造を有するMMI結合器を形成し、これによって通常のMMI結合器とは異なる位相比が当該区分の端面に生じ、この位相比によって、出射面に所望の干渉率用が出現することを特徴とするマルチモード干渉結合器。
2. 少なくとも1つの区分が、一次近傍において通常のMMI結合器とは異なる幾何学構造のMMI結合器を形成し、これによって通常のMMI結合器とは異なる位の位相比(セルフイメージ)が当該区分の端面に生じ、請求項1記載のマルチモード干渉結合器。
3. 1つの区分の幅ないし長さ、通常のMMI結合器の幅ないし長さとは異なっており、それによって位相比もしくは区分による自己結合係を異ならせている、請求項1または2記載のマルチモード干渉結合器。
4. 前記区分における異なる位相比を導くために、1つの区分の少なくとも1つの側面方向に傾斜がつけられている、請求項1記載のマルチモード干渉結合器。
5. 前記区分の2つの側面方向に同じ傾度の傾斜がつけられている、請求項4記載のマルチモード干渉結合器。
6. 2つの区分においてそれらの各区分の幅は、他の区分の方向に直交する方向に小さくなるか大きくなっている、請求項1または2記載のマルチモード干渉結合器。
7. 少なくとも1つの区分は、傾斜を有する側面方向を含んでおり、さらに当該区分の始端ないし終端面は平面である、請求項1記載のマルチモード干渉結合器。
8. 1つの区分の長さ、通常のMMI結合器の長さとは異なっている、請求項1から7いずれかの項記載のマルチモード干渉結合器。



9. 少なくとも2つの区分を有し、この場合出射面は第1及び第2区分の端面部分を含んでおり、第1区分は第2区分よりも広域であり、入射面における入力導波路の位置、幅、入射角に関する修正、出射面における出力導波路の位置、幅、入射角に関する修正、及び第2の区分の長さの修正により、出射面における所望の干渉作用が引き起こされている、請求項2記載のマルチモード干渉結合器。
10. 第1の区分のマルチモード導波路の幅は、光を受容する材料を含んでおり、請求項9記載のマルチモード干渉結合器。
11. マルチモード干渉(MMI)結合器の出射面における強度と位相比の変更のための方法であって、第1の通常のMMI結合器の並列な複方位位面に変更が加えられる形式のものにおいて、  
第1の通常のMMI結合器を、伝播方向によって区画する少なくとも2つの区分に分断し、それによって各区分自体を出射面と入射面を備えた1つのMMI結合器にさせ、  
少なくとも1つの区分の変形により、一次近似において通常のMMI結合器とは異なる位相比をその端面に有するMMI結合器を形成し、  
前記位相比によって、第1の通常のMMI結合器の出射面における干渉作用が、変更を加えたMMI結合器の出射面において所望の干渉作用に転換されるようにしたことを特徴とする方法。
12. 前記装置は、幅変更、長さ変更、横方向側面の傾斜付け、入出力導波路の傾斜方向のずれ、傾斜付け、寸法変更、これらの少なくとも1つである、請求項1に記載の方法。